

PEMANDU CAHAYA MATAHARI UNTUK PENCAHAYAAN ALAMI DI BANGUNAN

N. Fachrizal

Balai Besar Teknologi Energi-BPPT
Kawasan Puspiptek, Kab. Tangerang, Banten.
n.fachri.z@gmail.com

Abstract

Daylighting is the use of natural light to provide illumination in buildings during the day. This reflector tunnel modul is designed to transmit natural light (direct sun rays and sky light) to provide illumination in the building. This modul consist of 4 components, receiver, transmitter, elbow beam deflector and emerging component. 2 mm glass mirror are laminated inside all squared profile tunnel, reflecting and transmitting incident natural rays and emerging them into the room. This modul uses common glass mirror. The receiver is covered by doom which function as light collector, particularly for rays come at the wide angle. The emerging component is covered by diffuse flat glass for reducing glare and obtaining more comfortable light. Average light track inside modul is about 1.125 m. This light guide modul is installed in the chamber during performance tests are carried out. Performance tests show that the average light attenuation of 0.77 dB/m is resulted. Some problems still remain to be solved to apply this modul commercially, such as : replacing glass mirror by metal substances, technical and cost of fabrication, maintenace and installation matters, and estetical values that must be added.

Kata kunci: pipa cahaya, modul cahaya, cahya alami, reflektor.

1. PENDAHULUAN

Ruangan mendapatkan cahaya dengan dua cara, yaitu penerangan alami siang hari dan penerangan buatan dari lampu. Umumnya, ruangan memiliki jendela kaca, yang merupakan media transparan yang dapat melewatkan cahaya siang hari dari luar ruangan masuk ke dalam ruangan. Cahaya siang hari ini terdiri dari cahaya yang berasal dari sinar matahari langsung, cahaya difus langit, dan cahaya pantulan dari lingkungan. Pada sistem penerangan alami konvensional cahaya matahari langsung tak diinginkan karena akan mengakibatkan ruangan bertambah panas dan adanya efek penyilauan.

Penerangan alami siang hari penting dalam perencanaan sistem penerangan suatu bangunan karena turut menentukan penggunaan energi listrik dalam bangunan itu. Namun sering didapati ruangan-ruangan yang tak dapat memanfaatkan cahaya alami untuk penerangan seperti lorong-lorong dalam bangunan, ruang dan gudang bawah tanah, dan ruang-ruang yang letaknya sukar dicapai cahaya dari jendela di sisi bangunan.

Konstruksi dan letak bangunan dapat menyebabkan suatu ruangan tidak dapat

memperoleh cahaya alami sehingga membutuhkan cahaya lampu listrik walaupun pada siang hari. Untuk dapat memanfaatkan cahaya alami siang hari, ruang-ruang “tak berjendela” ini dapat memanfaatkan seperangkat perangkat optik yang dapat menyalurkan cahaya alami (cahaya langsung maupun difus) dari luar bangunan ke ruangan tersebut. Berbagai cara dapat ditempuh untuk menyalurkan cahaya alami ini ke ruangan, seperti memanfaatkan cermin pemantul secara langsung atau dengan menggunakan lorong pemandu cahaya. Tulisan ini berisi hasil rekayasa perangkat optik, digunakan cermin, yang dikonstruksi sedemikian membentuk lorong persegi sehingga bagian dalam lorong dapat berfungsi sebagai reflektor pemandu cahaya. Bagian luarnya dilindungi dan dikokohkan oleh bahan multipleks. Pemandu cahaya ini memiliki satu belokan, bagian bidang permukaan penerima (cahaya masuk) dipasang kubah kaca transparan sebagai pengumpul cahaya.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Reflektor Pemandu Cahaya

Pemandu cahaya matahari yang dirancang memanfaatkan sifat pantul (refleksi) cermin, yang dikonstruksi saling berhadap-hadapan dengan bentuk penampang persegi. Menurut hukum Fresnel (A. Handojo, 1989), fraksi pantul dan bias merupakan fungsi sudut datang, panjang gelombang, indeks bias bahan dielektrik pemantul, dan arah polarisasi. Karena itu jika fluks cahaya masuk F_i (lumen) mengalami n kali pantulan dengan faktor pantul R , maka fluks cahaya keluar F_o :

$$F_o = R^n \cdot F_i \quad (1)$$

Jika pada bidang cahaya masuk dipasang kubah kaca transparan dengan faktor transmisi T_d , pada ujung permukaan keluar cahaya dipasang kaca datar difus dengan faktor transmisi T_k , maka fluks cahaya keluar adalah :

$$F_o = T_d \cdot T_k \cdot R^n \cdot F_i \quad (2a)$$

Atau

$$F_o = T_m F_i \quad (2b)$$

Dengan T_m adalah transmisi modul pemandu cahaya.

Faktor transmisi merupakan fungsi panjang lintasan, karena itu parameter transmisi kurang dapat merepresentasikan peredaman cahaya per satuan panjang lintasan. Untuk itu digunakan digunakan parameter lain, yaitu atenuasi cahaya. Atenuasi cahaya (α) yang melintasi perangkat pemandu cahaya dengan panjang lintasan L , dinyatakan (G. Keizer, 1991) :

$$\alpha = \frac{10}{L} \log \left(\frac{F_i}{F_o} \right) \quad (3)$$

Atenuasi ini dinyatakan dalam dB/m. Dengan mengukur kuat pencahayaan bidang cahaya masuk E_i dan bidang cahaya keluar E_o , transmisi dan atenuasi cahaya modul pemandu cahaya dapat ditentukan.

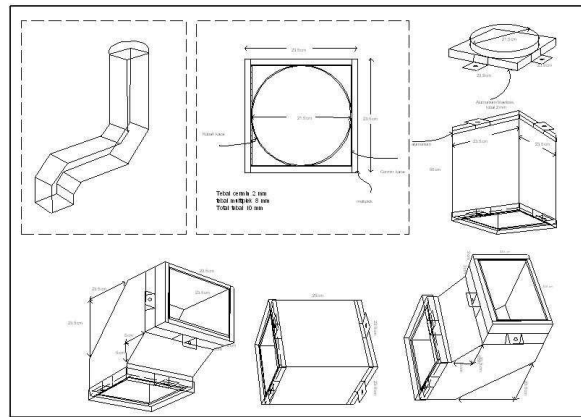
2.2. Perancangan Lorong Pemandu Cahaya Matahari

Penyalur cahaya alami yang dirancang difokuskan untuk menyalurkan cahaya matahari langsung karena iluminansi cahaya langsung ini amat tinggi. Cahaya langit, yang pada sistem jendela amat diinginkan, justru pada sistem penyalur cahaya ini tak banyak manfaatnya mengingat iluminansi yang rendah dan luas apertur sistem penyalur cahaya umumnya tidak besar, meski pada prakteknya cahaya langit ini memanfaatkan juga namun dalam perhitungan diabaikan.

Pipa cahaya berbentuk terowongan yang bagian dalamnya dilapisi dengan cermin, terdiri dari permukaan cahaya masuk, komponen penyalur, komponen pembelok dan komponen permukaan keluar cahaya. Konfigurasi dan dimensi modul ini ditunjukkan pada gambar 1. Modul berpenampang persegi dengan dimensi permukaan masuk dan keluar 21.5cm X 21.5cm. Komponen-komponen lorong dan pembelok cahaya dapat dipasang dan dilepas menjadi sistem modular (knock down). Cermin yang digunakan adalah cermin yang banyak ditemui di pasaran, yaitu cermin dengan lapisan pemantul pada permukaan belakang, dengan faktor pantul rata-rata sekitar 96%.

Pada permukaan penerima dipasang kubah kaca berbentuk setengah bola untuk mengurangi efek pantulan jika cahaya datang pada sudut yang besar, sekaligus mengumpulkan cahaya masuk. Kubah menggunakan kaca transparan dengan ketebalan 1 mm, dengan faktor transmisi rata-rata 99%. Kubah diletakkan pada dudukan terbuat dari *stainless steel* mengkilat, yang diinstalasi di atas permukaan masuk. Diinginkan cahaya masuk dapat 'dijebak' dengan model belokan 45° tersebut sehingga pada sudut datang yang besar, cahaya yang berbalik arah dapat diminimasi. Panjang lintasan cahaya dengan sudut datang 0° adalah 112.5cm.

Modul pemandu cahaya ini akan dipasang pada rumah model, yang akan digunakan sebagai media pengujian kinerja transmisinya. Pada permukaan keluar, pada rumah model, ditutup dengan kaca difus untuk mengurangi luminansi yang tinggi. Kaca difus dapat digunakan untuk mereduksi efek silau namun juga akan mereduksi jumlah fluks cahaya yang akan melalui perangkat. Pada pengujian transmisi modul, kaca difus ini akan diuji transmisinya secara terpisah dari modul karena merupakan komponen opsional, yang dapat diganti dengan model rumah lampu lain.



Gambar 1 . Pipa cahaya dengan cermin pemantul

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Kinerja Modul Pemandu Cahaya

a. Metodologi Pengujian

Untuk mendapatkan karakteristik atenuasi cahaya modul penyalur cahaya ini, parameter yang ingin diketahui dan diukur adalah sebagai berikut:

- Fluks cahaya saat memasuki modul penyalur cahaya, F_i .
- Fluks cahaya setelah keluar dari modul penyalur cahaya, F_o .

Besarnya fluks cahaya yang dapat ditransmisikan bergantung sudut datang cahaya pada permukaan penerima, karena menentukan jumlah pantulan cahaya di dalam modul. Untuk itu, pengukuran dilakukan langsung di bawah cahaya matahari, dari pagi hingga sore hari, sehingga sudut datang bervariasi bergantung jam matahari. Modul ditempatkan pada rumah model seperti ditunjukkan oleh gambar 2. Selubung kain hitam digunakan untuk mereduksi efek cahaya pantul dari dinding-dinding dalam rumah model yang mungkin akan mempengaruhi pengukuran cahaya yang keluar dari modul.

Fluks cahaya ditentukan dengan mengukur kuat pencahayaan (iluminansi) E_o dan E_i dengan menempatkan sensor luxmeter pada bidang keluar dan bidang masuk modul seperti pada gambar 2. Pencatatan kedua harga iluminansi tersebut dilakukan secara manual setiap jam secara bersamaan. Karena distribusi cahaya keluar tidak tersebar seragam ke semua permukaan keluar, pengukuran dilakukan beberapa titik ukur meliputi seluruh permukaan keluar, lalu dirata-rata. Karena cahaya yang keluar pada suatu saat jumlahnya tetap meski tidak terdistribusi secara merata ke seluruh permukaan keluar, dan pada modul ini akan digunakan kaca difus yang berfungsi menyebarkan cahaya yang keluar, maka asumsi pelinieran dengan

merata-ratakan jumlah cahaya keluar ini masih dapat dilakukan.

Rumah model ditempatkan sedemikian sehingga pengukuran dapat dilakukan pada arah belokan modul sejajar dan pada arah tegak lurus arah gerakan harian matahari (Barat – Timur). Setelah mengukur pada arah tegak lurus, rumah model disejajarkan terhadap arah gerakan matahari, kemudian diukur kembali, atau sebaliknya. Sudut datang akibat deklinasi sumbu rotasi bumi, gerakan revolusi, dan sudut lintang lokasi pengukuran diabaikan, tanggal dan bulan pengukuran dilakukan dicatat. Dengan demikian permukaan penerima tetap tegak lurus zenit, tidak dimiringkan mengikuti kemiringan gerakan tahunan matahari terhadap lokasi pengukuran.

Dari pengukuran-pengukuran tersebut akan dihitung transmisi dan atenuasi cahaya modul dari persamaan (2) dan (3). Untuk itu parameter dimensional modul diperlukan. Tabel 1 memberikan parameter-parameter tersebut beserta notasi-notasinya. Karena permukaan penerima dan permukaan keluar cahaya luasnya tidak sama, maka iluminansi terukur E harus dikalikan luas A masing-masing untuk mendapatkan fluks F cahayanya sebelum digunakan pada persamaan (2) dan (3).

Pengukuran juga dilakukan terhadap kaca difus yang akan dipasang pada permukaan keluar modul, untuk mendapatkan harga transmisi cahayanya. Digunakan 2 jenis kaca difus pelat yang ada di pasar, yaitu yang dikenal dengan nama kaca es dan kaca dop. Keduanya berwarna bening, kaca es lebih kasar permukaan difusnya daripada kaca dop.

b. Data Pengukuran iluminansi

Pengambilan data dilakukan secara manual yaitu dengan melihat langsung *display* alat ukurnya lalu mencatatnya. Hasil pengukuran

dapat dilihat pada tabel 2 beserta hasil perhitungannya, sedangkan pengukuran terhadap kaca difus diberikan pada table 3.

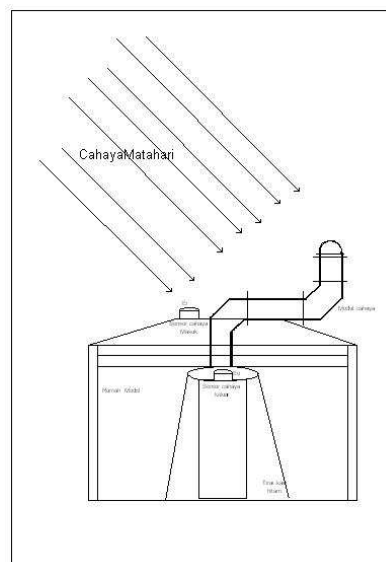
Pada pengukuran transmisi kaca difus, perubahan sudut datang tidak berpengaruh banyak pada faktor transmisinya. Hasil ini menguntungkan karena efek difus menyebabkan cahaya dibaurkan ke segala arah menghasilkan luminansi yang cenderung seragam selama cahaya datang merata ke seluruh permukaan.

3.2. Analisis Kinerja Modul Penyalur Cahaya Matahari

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa faktor transmisi terbesar memang pada sudut cahaya datang yang kecil, yaitu sekitar jam 12 siang. Dari Tabel 2 tersebut, tren atenuasi cahaya modul tanpa

kaca difus untuk tiap jam pengukuran diberikan pada gambar 3.

Dari data karakteristik atenuasi cahaya ini dapat ditentukan fluks cahaya yang keluar dari modul jika lorong diperpanjang sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan. Dengan menggunakan persamaan (3), jika diinginkan lintasan rata-rata modul adalah 5 meter, dari data atenuasi yang dirata-rata diperoleh 0.77, dapat diperkirakan jumlah cahaya yang mencapai permukaan keluar adalah 41%. Bila dikalikan dengan transmisi kaca difus rata-rata 80%, maka perkiraan transmisi total adalah 33%. Artinya jika rata-rata cahaya matahari langsung adalah 100kLux, maka iluminansi cahaya yang keluar dari modul adalah 33kLux, atau setara dengan lampu yang memancarkan rata-rata 1670 lumen, mendekati lampu TLD 18 Watt.



Gambar 2. Perangkat pengujian efisiensi penyalur cahaya.

Tabel 1. Parameter modul dan notasi

Jari-jari Kubah	r	=	11.25	cm
Luas Permukaan masuk	$A_i = 2\pi r^2$	=	0.079	m^2
Sisi permukaan keluar	p	=	22.500	cm
Luas permukaan keluar	$A_o = p^2$	=	0.051	m^2
Lux masuk	E_i			
Lux keluar	E_o			
Transmisi	$\eta = E_o \times A_o / (E_i \times A_i)$			
Panjang lintasan cahaya	$L =$	1.125	m	
Atenuasi	$(10/L) \times \ln((E_o \times A_o) / (E_i \times A_i))$	=		dB/m

Tabel 2. Data Pengukuran Iluminansi Transmisi Cahaya Modul Pipa Cahaya, x100

Jam	Arah Belokan Modul										
	Sejajar lintasan matahari				Tegak Lurus lintasan matahari						
	Ei (Ix)	Ei _{av} (Ix)	Eo (Ix)	Eo _{av} (Ix)	Ei (Ix)	Ei _{av} (Ix)	Eo (Ix)	Eo _{av} (Ix)			
	Pengukuran tgl 19 Sep 06, lokasi Serpong										
9	688	684	717	772	682	685	725	822			
	672		779		679		816				
	691		821		694		925				
	Transmisi=		72%	Atenuasi=		1.27	Transmisi=		76%	Atenuasi=	
10	852	887	988	998	886	895	912	1183			
	884		921		902		1230				
	924		1085		897		1407				
	Transmisi=		72%	Atenuasi=		1.28	Transmisi=		84%	Atenuasi=	
11	1046	1034	1573	1377	1087	1105	1375	1492			
	1034		1337		1132		1729				
	998		1209		1103		1512				
	1056		1387		1098		1350				
Transmisi=		85%	Atenuasi		0.63	Transmisi=		86%	Atenuasi=		0.58
12	1021	1124	1621	1623	1159	1141	1710	1686			
	1185		1776		1124		1470				
	1150		1523		1142		1692				
	1140		1571		1139		1870				
Transmisi=		92%	Atenuasi		0.32	Transmisi=		94%	Atenuasi=		0.24
13	998	995	1117	1311	996	994	1231	1324			
	997		1343		995		1384				
	987		1443		988		1406				
	998		1342		997		1274				
Transmisi=		84%	Atenuasi		0.68	Transmisi=		85%	Atenuasi=		0.64
14	488	453	603	584	792	761	961	998			
	442		561		788		942				
	437		571		741		1072				
	444		601		722		1018				
Transmisi=		82%	Atenuasi		0.76	Transmisi=		84%	Atenuasi=		0.69
15	432	432	527	517	487	487	610	601			
	435		518		477		577				
	428		514		490		605				
	431		510		493		612				
Transmisi=		76%	Atenuasi		1.04	Transmisi=		79%	Atenuasi=		0.93

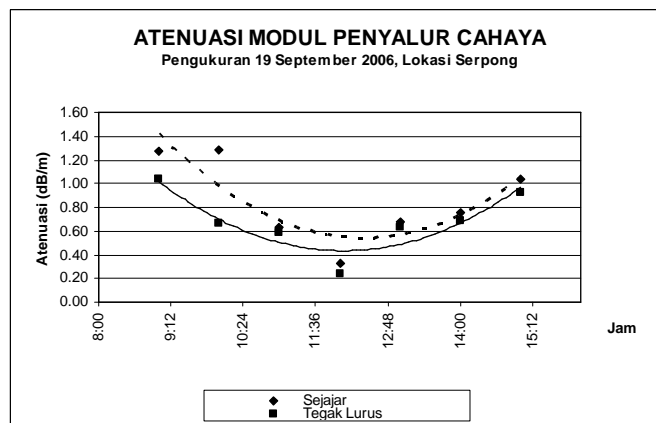
Fluks cahaya ini cukup besar untuk dapat dimanfaatkan menerangi ruangan. Memang jumlah fluks cahaya ini tidak konstan, bervariasi tergantung kondisi cuaca dan jam. Pada suatu saat cahaya yang disuplai amat minim bahkan samasekali tidak ada jika matahari condong di Timur maupun ke Barat, juga pada cuaca mendung. Modul dan rumah model diperlihatkan pada foto di gambar 4.

Modul ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan bahan cermin dari logam,

sehingga muddah untuk perakitanannya. Kelemahan penggunaan cermin kaca adalah modul membutuhkan perlindungan karena mudah pecah. Dengan demikian membutuhkan perlakuan yang lebih hati-hati saat instalasi. Perlindungan modul berarti menambah bobot, yang berarti mengurangi keleluasaan sewaktu instalasi.

Tabel 3. Transmisi Kaca difus

Pelat Kaca	Illuminansi (Lux)		Transmisi (%)
	Ei	Eo	
Kaca Es, Tebal 3mm	483	430	89.1%
	501	445	
	483	432	
Rata-rata	489	435.7	
Kaca Dop, Tebal 2 mm	258	208	87.0%
	478	432	
Rata-rata	368	320	



Gambar 3. Tren Atenuasi Modul Cahaya



Gambar 4. Modul pipa cahaya dan rumah model

Bila modul dibuat silinder masih memungkinkan tetapi bila ukurannya besar belum juga diperoleh bengkel yang dapat membuatnya. Penggunaan logam mengkilat seperti *steinless mirror*

sebenarnya lebih praktis, namun teknis dan peralatan yang ada di bengkel-bengkel manufaktur yang menggunakan mesin *roller* atau peralatan lainnya untuk membentuk profil

penampangnya, cenderung akan merusak lapisan cerminnya. Kendala lain adalah mahal biaya krom maupun bahan *steinless mirror*.

Pemilihan penampang modul berbentuk persegi ditujukan untuk dapat diterapkan di gedung-gedung besar memanjang semacam pabrik atau gudang penyimpanan. Dimensi modul dapat dibuat memanjang dan lebar yang cukup sempit. Sedangkan profil penampang sama sisi dapat diterapkan untuk gedung komersial maupun rumah tinggal. Pada rumah tinggal maupun gedung tak bertingkat, modul ini dapat dimodifikasi tanpa belokan sehingga mengurangi rugi-rugi pantulan. Bentuk persegi ini juga dapat diganti dengan bentuk silinder, dengan atau tanpa belokan. Tetapi bentuk silinder ini tidak dapat menggunakan cermin kaca tetapi menggunakan pelat logam dengan permukaan mengkilat, yang membutuhkan manufaktur yang mampu membuatnya dengan harga yang terjangkau.

Pembubuhan nilai estetika masih dibutuhkan untuk menerapkan pada sistem bangunan komersial, terutama pada komponen keluaran. Penutup rumah lampu yang banyak ditemui di pasaran dapat dimanfaatkan meski faktor transmisinya cenderung rendah. Persoalan lain adalah paduan teknis dan estetika pada komponen penerima. Instalasi modul ini pada atap rumah atau bangunan mesti melibatkan mekanisme penahan hujan pada komponen penerima cahaya agar hujan tidak bocor masuk ke modul maupun ke atap bangunan. Diperlukan pula mekanisme pembuangan panas pada modul berupa lubang-lubang ventilasi, namun tidak menimbulkan rugi-rugi cahaya yang banyak dan juga tidak mudah dijadikan sarang hewan.

Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberi sumbangan pemikiran untuk memproduksi modul penyalur cahaya ini yang mudah diterapkan baik di bangunan komersial maupun perumahan dengan harga terjangkau sehingga dapat memberikan kontribusi pada penghematan penggunaan energi listrik yang saat ini semakin mahal dengan bahan bakar fosil yang semakin langka.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian dan pengembangan modul penyalur cahaya berbentuk terowongan dengan reflektor cermin kaca diatas, dapat disimpulkan beberapa hal :

- Model modul penyalur cahaya ini dapat dimanfaatkan sebagai solusi alternatif sistem

pencahayaan alami di bangunan untuk penghematan penggunaan energi listrik.

- Modul *knock-down* dengan satu komponen belokan, komponen penerima dan komponen keluar cahaya dapat menjadi inspirasi aplikasi untuk pada gedung-gedung komersial.
- Pengukuran atenuasi menunjukkan, modul cukup efisien dengan atenuasi rata-rata 0.77 dB/m. Jika modul diperpanjang dimensinya hingga 5 m, komponen keluaran menggunakan kaca difus dengan transmisi 80%, diperkirakan menurut perhitungan, modul masih dapat mentransmisikan cahaya sebanyak 33%.
- Penggunaan kubah kaca transparan berkontribusi untuk mengumpulkan cahaya terutama pada sudut datang cahaya yang besar.
- Diperlukan pengembangan material reflektor logam sebagai pengganti kaca untuk mengurangi bobot modul dan kerapuhan material terhadap benturan, juga perlu dikembangkan teknis fabrikasi atau perakitan yang murah namun tidak mengurangi kualitas.
- Masih diperlukan peningkatan pada nilai estetika maupun kemudahan instalasi dan perawatan hingga modul ini layak digunakan secara komersial.

DAFTAR PUSTAKA

Handojo, A., 1989, *Laser, Serat Optik, dan Pemusat Surya : Diktat Kuliah*, Penyelenggara PPI-ITB, Bandung.

<http://arch.hku.hk/~kpcheung/daylight/images/day-6.htm>

<http://www.lightforum.com/design/ALM022.html>

Keizer, G., 1991, *Optical Fiber Communications*, 2ndEd., McGraw-Hill International Edition, Singapore.

Westinghouse, 1979, *Lighting Handbook*, Canada.